

KINETIKA ADSORPSI-REDUKSI ION Au(III) PADA ASAM HUMAT HASIL ISOLASI DARI TANAH GAMBUT RAWA PENING

ADSORPTION KINETICS OF ADSORPTION-REDUCTION OF Au(III) ON HUMIC ACID FROM RAWA PENING PEAT SOIL

Dian Prasasti¹, Sri Juari², Sri Sudiono²

*¹Fakultas Farmasi Universitas Ahmad Dahlan
Jl. Prof. Dr. Supomo Yogyakarta, Telp. (0274) 379418
Email : dianprasasti@gmail.com*

Abstrak

Isolasi asam humat dan aplikasinya untuk adsorpsi reduksi ion Au(III) telah dilakukan. Asam humat diisolasi dari tanah gambut yang diambil dari Rawa Pening, Jawa Tengah. Isolasi asam humat dari tanah gambut didasarkan pada metode ekstraksi tradisional basa. Isolasi asam humat dilakukan dengan mengekstraksi asam humat dari tanah gambut dengan 0,1 M NaOH dan mengendapkan dengan 0,1 M HCl kemudian dilakukan pencucian dengan 0,1 M HCl/0,3 M HF 1/1. Asam humat dikarakterisasi dengan spektroskopi *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) kemudian diaplikasikan untuk adsorpsi-reduksi ion Au(III). Kinetika adsorpsi terhadap proses adsorpsi reduksi ion Au (III) juga telah dipelajari. Logam Au yang terbentuk dikonfirmasi dengan difraktogram XRD dan foto mikroskop optik. Hasil perhitungan konstanta laju adsorpsi (k) dengan model kinetika Santosa adalah 0,0065 menit⁻¹. Pembentukan logam Au ditunjukkan oleh munculnya puncak pada $2\theta = 38, 44, \text{ dan } 64$ dalam difraktogram XRD.

Kata kunci : asam humat, Au(III), adsorpsi, reduksi, kinetika adsorpsi

²Fakultas MIPA UGM

Abstract

Isolation of peat soil humic acid and its application for adsorption reduction of Au(III) have been conducted. Humic acid was isolated from peat soil that was collected from Rawa Pening, Central Java. Isolation of humic acid from peat soil was based on conventional alkaline extraction method. Humic acid was extracted from peat soil with NaOH 0.1 M, then precipitated with 0.1 M HCl, and purified with 0.1 M HCl/0.3 M HF 1/1. The isolated humic acid was characterized by FTIR spectroscopy, then applied for adsorption and reduction process of Au (III). Adsorption kinetics on adsorption reduction process of Au (III) also were studied. The gold metal formed was confirmed by XRD diffractogram, and photo optical microscope. The adsorption rate constant (k) with Santosa kinetics model for humic acid is 0.0065 min^{-1} . Peaks of gold particles in the diffractogram are $2\theta = 38, 44,$ and 64 .

Keywords : humic acid, Au(III), adsorption, reduction, adsorption kinetic

PENDAHULUAN

Emas adalah salah satu logam berat dengan nilai ekonomis tinggi sehingga selalu menarik untuk dieksplorasi (Walting, 2007). Di bumi, emas ditemukan dalam bentuk logam (*native*) yang terdapat dalam retakan-retakan batuan kwarsa dan dalam bentuk mineral. Emas juga ditemukan dalam bentuk emas alluvial yang terbentuk karena proses pelapukan batuan-batuan yang mengandung emas (*gold-bearing rocks*). Kelimpahan relative emas dalam kerak bumi diperkirakan sebesar $0,004 \text{ g/ton}$, termasuk sekitar $0,001 \text{ g/ton}$ terdapat diperairan laut (Rusdiarso, 2007). Emas selain sebagai perhiasan juga memiliki banyak manfaat di bidang kesehatan, seperti untuk kecantikan, penyusun nanopartikel dalam pengobatan kanker, digunakan dalam industri farmasi, dan lain-lain.

Dalam barang-barang elektronik seperti tv, radio, hp, dan komputer selalu mengandung emas karena sifatnya yang dapat menghantarkan listrik (konduktor). Perusahaan Jepang, Yokohama Metal Co Ltd. pernah melakukan penelitian dan menemukan bahwa satu ton bahan tambang emas setelah diolah, rata-rata hanya menghasilkan 5 gram emas, sementara 1 ton ponsel bekas bias menghasilkan 150 gram emas atau lebih. Pabrik daur ulang ponsel di Jepang, Eco-system Recycling Co., menghasilkan emas batangan antara 199.58 – 299.37 kg/bulan yang nilainya berkisar US \$ 5,9 juta – US \$ 8,8 juta. Hasil yang hampir sama dengan sebuah penambangan emas skala kecil, dengan resiko dan modal yang lebih kecil (Anonim, 2008).

Metode isolasi emas yang banyak digunakan adalah metode sianida (Hiskey, 1985) dan metode amalgamasi dengan menggunakan merkuri (Lee, 1994). Sianida telah digunakan sebagai material pengekstraksi emas selama lebih dari 100 tahun, dikarenakan murah (Watling, 2007). Merkuri dan

sianida dapat mengendap di perairan dan masuk ke rantai makanan apabila masuk ke dalam tubuh manusia melalui penggunaan air dan hasil-hasil perairan yang di-manfaatkan manusia, terjadilah penumpukan logam berat dalam jaringan tubuh manusia, sehingga secara perlahan dapat menimbulkan kerusakan permanen pada organ tubuh, secara kronis dapat menyebabkan kematian.

Metode alternatif yang dapat digunakan adalah adsorpsi. Metode ini murah, mudah dioperasikan, sederhana, serta kapasitasnya besar (Thomas dan Crittenden, 1998). Adsorpsi didasarkan pada interaksi ion logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan adsorben melalui interaksi pembentukan kompleks dan biasanya terjadi pada permukaan padatan yang kaya gugus fungsional seperti $-\text{OH}$, $-\text{NH}$, $-\text{SH}$, dan $-\text{COOH}$ (Stum dan Morgan, 1996). Adsorben konvensional dalam proses hidrometalurgi emas adalah karbon aktif (Laatikainen dan Paatero, 2005). Karbon aktif mudah dipreparasikan dan memiliki kapasitas adsorpsi yang cukup tinggi terhadap emas, namun memiliki kelemahan, yaitu emas sulit untuk didesorpsi atau dilepaskan dari permukaan karbon aktif (Nakbanponte dkk., 2002). Berbagai adsorben selain karbon aktif juga telah banyak dilakukan, seperti resin kitosan (Ramesh dkk., 2008), persimmon tannin gel (Nakajima dkk., 2003), novel tanning gel (Ogata dan Nakano, 2005), turunan lignofenol (Parajuli dkk., 2009), turunan fenol (Hamamoto dkk., 2009), dietilaminoetil-selulosa (Tasdelen dkk., 2008), dan humin (Dewi, 2010).

Hamamoto dkk. (2009) telah melakukan reduksi ion emas menjadi logam emas menggunakan turunan fenol dan menunjukkan hasil bahwa gugus hidroksil pada senyawa turunan fenol bekerja secara efisien dalam mereduksi ion emas menjadi logam emas. Pada reaksi reduksi ion Au(III) menjadi ion Au(0), setiap mol Au(III) yang tereduksi melepaskan

3 mol ion H^+ di dalam larutan yang menyebabkan larutan menjadi asam (Parajuli dkk., 2006).

Reaksi reduksi Au(III) menjadi Au(0) oleh gugus $-OH$:



Asam humat merupakan salah satu fraksi tanah gambut yang larut dalam basa tetapi larut dalam asam. Asam humat mengandung gugus fungsional $-COOH$ dan $-OH$ sehingga dapat digunakan sebagai adsorben untuk logam maupun senyawa organik.

Banyaknya limbah elektronik yang dihasilkan dan mengingat dampak negatif yang ditimbulkan, maka pada penelitian ini akan dipelajari asam humat untuk adsorpsi reduksi ion Au(III) dengan perhitungan kinetika adsorpsi.

METODE PENELITIAN

Bahan

Tanah gambut dari Rawa Pening, Jawa Tengah, HCl p.a, HF p.a, NaOH p.a, KOH p.a, KCl p.a, larutan $HAuCl_4$ 1000 ppm (buatan Sri Sudiono), aquades (laboratorium Kimia Dasar UGM), kertas saring Whatman 42, dan gas N_2 (CV Perkasa)

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *hot plate* dan *stirrer*, neraca analitik (Shimadzu), centrifuge (Kokusan tipe H-107), lumpang dan mortal agat, pH-meter (Horiba pH meter F-52), oven (Fischer Scientific model 655F), ayakan tepung dan ayakan 200 mesh, peralatan analisis meliputi spektrofotometer inframerah (Shimadzu FTIR-8201 PC), mikroskop optic kamera (Nikon SMZ 1500 +Nikon Digital Camera DXM 1200C),

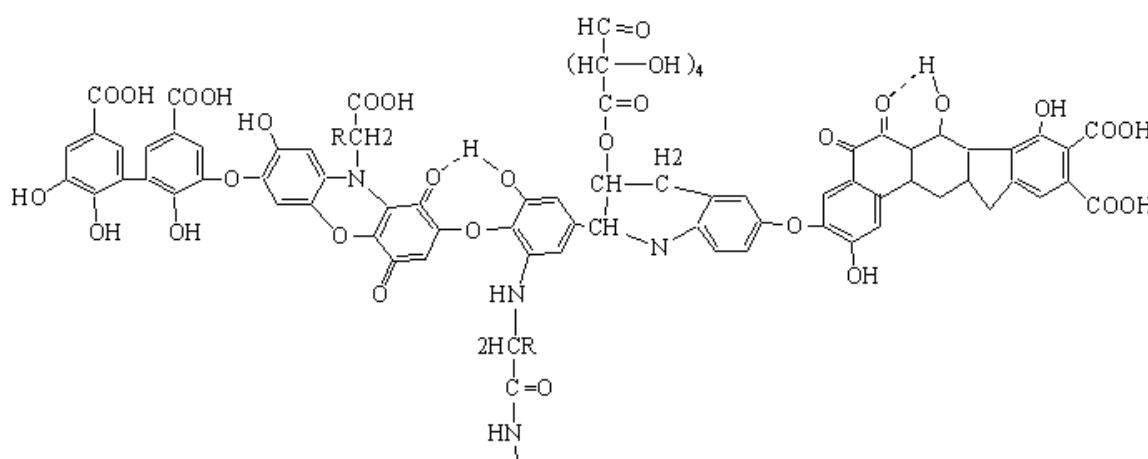
diffraktometer sinar-X (Shimadzu XRD-6000), dan spektrofotometer serapan atom (Perkin Elmer 3110), serta alat penunjang berupa alat-alat gelas dan plastik laboratorium.

Jalannya Penelitian

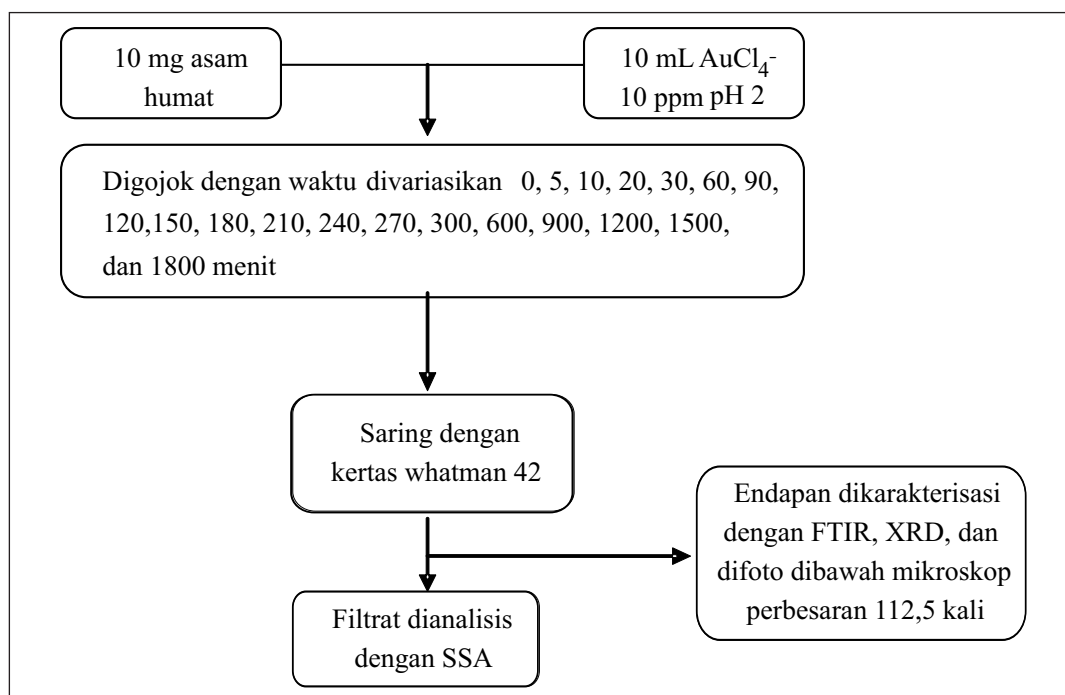
Isolasi asam humat : Tanah gambut yang berasal dari rawa pening dikeringkan pada suhu kamar, kemudian dipisahkan dari ranting dan akar. Tanah tersebut digerus dan diayak dengan ayakan tepung. Seratus gram tanah yang telah halus diisolasi dengan NaOH 0,1 M dengan cara digojok selama 24 jam dibawah kondisi Nitrogen. Padatan dan filtrat dipisahkan dengan disaring dengan kain dan di sentrifuge 2000 rpm selama 20 menit. Filtrat yang terbentuk kemudian diendapkan dengan HCl 0,1 M hingga pH ≈ 1 . Endapan dipisahkan dari filtrat dengan disentrifuge 2000 rpm selama 20 menit kemudian dikarakterisasi dengan spectrometer FTIR.

Pemurnian asam humat : Asam humat dimurnikan dengan dilarutkan dengan KOH 0,1 M dan ditambahkan garam KCl hingga $[K^+] = 0,3$ M. Larutan ini digojok 24 jam dibawah kondisi atmosfer nitrogen. Filtrat dan endapan yang terbentuk dipisahkan dengan disentrifuge 2000 rpm selama 20 menit. Filtrat yang didapat kemudian diendapkan dengan HCl 0,1 M hingga pH ≈ 1 . Endapan dipisahkan dari filtratnya dengan disentrifuge 2000 rpm selama 20 menit. Endapan dicuci empat kali dengan larutan HCl 0,1 M : HF 0,3 M = 1 : 1. Pencucian dilakukan dengan wadah plastik. Hasil pencucian kemudian dicuci dengan aquades. Endapan hasil pemurnian kemudian dioven pada suhu 40 °C. Asam humat yang telah murni dikarakterisasi dengan spectrometer FTIR.

Penentuan model isoterm adsorpsi-reduksi ion Au(III) : Sepuluh milligram asam humat dicampurkan dengan 10 mL larutan $AuCl_4^-$ dengan



Gambar 1. Struktur hipotetik asam humat menurut Stevenson (Stevenson,1994)



Gambar 2. Bagan penentuan model isoterm adsorpsi-reduksi ion Au(III)

konsentrasi 100 ppm pada pH 2. Campuran kemudian digojok dengan waktu yang divariasikan 0, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 600, 900, 1200, 1500, dan 1800 menit. Campuran kemudian disaring dengan kertas saring whatman 42. Filtrat kemudian dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom (SSA).

Karakterisasi asam humat pasca adsorpsi :

Asam humat setelah proses adsorpsi dikarakterisasi dengan spectrometer FTIR, XRD, dan difoto dibawah mikroskop perbesaran 112,5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi dan Pemurnian Asam Humat

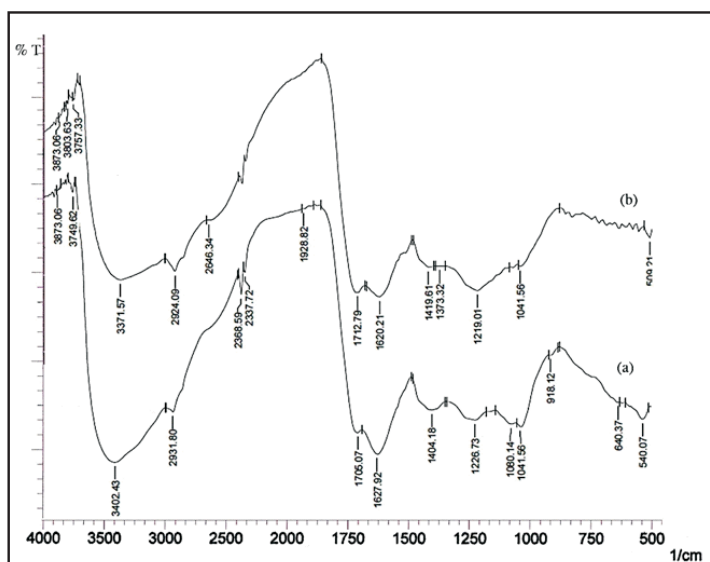
Asam humat yang digunakan dalam penelitian ini diisolasi dari tanah gambut Rawa Pening, Jawa Tengah. Proses isolasi menggunakan metode konvensional ekstraksi alkali. Asam humat larut dalam basa tetapi tidak larut dalam asam, sehingga isolasi dengan ekstraksi menggunakan basa kuat NaOH kemudian diendapkan dengan HCl. Proses isolasi dengan basa dilakukan dengan pengaliran gas N_2 untuk mengusir O_2 dalam sistem agar tidak terjadi reaksi autooksidasi pada tanah gambut oleh basa NaOH. Asam humat kotor yang diperoleh kemudian dimurnikan dengan melarutkan dalam KOH dan pengaliran gas N_2 , kemudian diendapkan kembali dengan HCl. Setelah proses pengendapan dengan HCl, asam humat yang diperoleh dicuci dengan

campuran 0,1 M HCl : 0,3 M HF 1:1. Asam humat dilarutkan kembali dengan KOH untuk memisahkan dengan senyawa humin yang terikut saat proses ekstraksi. Pencucian dengan HCl/HF untuk menghilangkan pengotor anorganik maupun pengotor organik terutama silika (tanah).

Karakterisasi asam humat hasil isolasi dengan FTIR

Menurut Stevenson (1994), senyawa humat memiliki gugus fungsional utama seperti $-OH$, $-COOH$, kuinon, aromatik, dan alifatik.

Spektra IR asam humat hasil isolasi pada Gambar 3 menunjukkan beberapa puncak serapan yang karakteristik. Serapan yang melebar dan kuat di daerah 3300 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur gugus $-OH$ dan menunjukkan adanya ikatan hidrogen. Puncak serapan 2900 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur C-H alifatik. Puncak di daerah 1700 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur $C=O$ dari $COOH$ dan keton. Puncak 1610 cm^{-1} merupakan serapan $C=C$ aromatik dan vibrasi ulur asimetrik $C=O$. Puncak di daerah 1250 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur C-O. Puncak di daerah 1460 cm^{-1} merupakan serapan C-H dari CH_2 ataupun CH_3 . Puncak di daerah 1390 cm^{-1} merupakan serapan vibrasi *bending* C-H dari CH_3 . Spektra IR asam humat hasil penelitian sesuai dengan Stevenson (1994), yaitu munculnya puncak-puncak yang karakteristik pada bilangan gelombang 3400, 2900, 1720, 1600, dan 1200 cm^{-1} .



Gambar 3. Spektra FTIR asam humat : (a) asam humat kotor; (b) asam humat pemurnian

Spektra FTIR asam humat sebelum dan setelah dilakukan pencucian terlihat beberapa perbedaan. Setelah dilakukan pencucian, ada puncak-puncak yang hilang dan juga ada puncak yang mengalami pergeseran. Pergeseran bilangan gelombang 3402 cm^{-1} ke 3371 cm^{-1} dan bertambah lebarnya serapan di daerah tersebut setelah dilakukan pencucian menunjukkan bahwa setelah dilakukan pencucian, ikatan hidrogen dalam asam humat semakin bertambah. Bertambah besarnya serapan di bilangan gelombang sekitar 1700 cm^{-1} menunjukkan bertambahnya serapan gugus C=O dari COOH . Sebelum pencucian gugus COOH berinteraksi dengan logam, dan setelah pencucian logam-logamnya terlepas dari asam humat. Hilangnya serapan Si-O pada bilangan gelombang 1080 cm^{-1} mengindikasikan berkurangnya silika dalam asam humat yang melekat. Hilangnya serapan pada daerah di bawah 1000 cm^{-1} menunjukkan bahwa berkurangnya logam-logam dan silika yang terikat pada asam humat hasil isolasi.

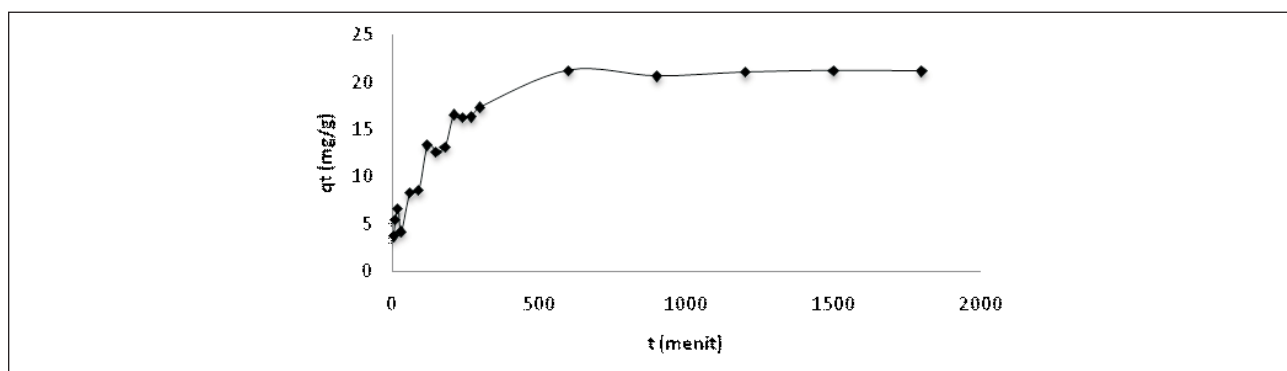
Kinetika adsorpsi-reduksi Au(III) pada asam humat

Kinetika adsorpsi-reduksi Au(III) pada asam humat dipelajari dengan menginteraksikan asam humat dan larutan Au(III) pada berbagai waktu hingga diperoleh kesetimbangan adsorpsi. Ion Au(III) akan semakin banyak berinteraksi dengan situs aktif asam humat seiring berjalannya waktu hingga mencapai kondisi kesetimbangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesetimbangan adsorpsi-reduksi tercapai pada menit ke 600 (10 jam). Setelah kesetimbangan tercapai, tidak terjadi peningkatan atau penurunan yang signifikan terhadap proses adsorpsi-reduksi.

Dalam mempelajari kinetika adsorpsi reduksi, maka perlu diperhitungkan konstanta laju adsorpsi. Penentuan konstanta laju adsorpsi-reduksi Au(III) pada asam humat ditentukan menggunakan model kinetika Langmuir-Hinshelwood, Santosa (2007), dan Ho.

Model kinetika Langmuir-Hinshelwood digambarkan dengan persamaan:



Gambar 4 Pengaruh waktu terhadap adsorpsi-reduksi ion Au(III) pada asam humat

Tabel 1. Hasil penentuan kinetika adsorpsi ion Au(III) pada asam humat

Model	Parameter	Nilai
Langmuir-Hinshelwood	r	0,904
	k (menit ⁻¹)	0,0046
	K (L/mol)	-4503,5
Santosa	r	0,999
	k (menit ⁻¹)	0,0065
	K (L/mol)	-1537,4
Ho	r	0,998
	h (mg/g menit)	0,265
	k (g/mg menit)	0.000529

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_A}\right)}{C_0 - C_A} + k_0 = \frac{k_1 \cdot t}{C_0 - C_A}$$

dimana C_0 adalah konsentrasi larutan mula-mula, C_A adalah konsentrasi dalam larutan saat t , t adalah waktu adsorpsi, K adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi dan k_1 adalah konstanta laju adsorpsi.

Sehingga Model kinetika Langmuir-Hinshelwood dilakukan dengan membuat kurva linier antara $\frac{\ln(C_0 / C_A)}{C_0 - C_A}$ vs $\frac{t}{C_0 - C_A}$ dengan slope k dan intersep K .

Model kinetika Santosa digambarkan dengan persamaan :

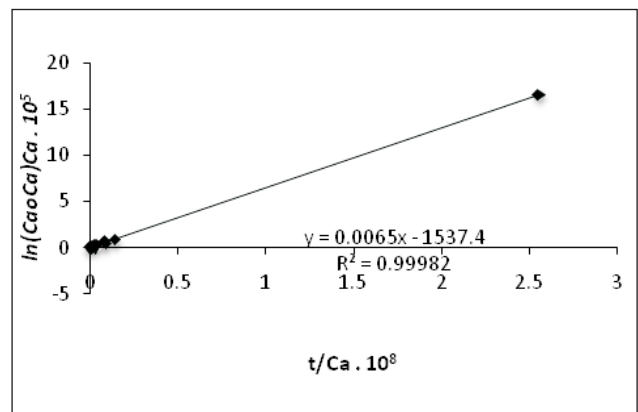
$$\frac{\ln\left(\frac{C_{A0}}{C_A}\right)}{C_A} = k_{1A} \cdot \frac{t}{C_A} + K_A$$

Sehingga model kinetika Santosa dilakukan dengan membuat kurva linier antara $\frac{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}}{C_A}$ vs $\frac{t}{C_A}$ dengan slope k dan intersep K .

Ho (2006) mengemukakan model kinetika adsorpsi pseudo orde dua yang didasarkan terhadap kapasitas serapan pada fase padatan. Persamaan Ho dinyatakan dengan :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{h} + \frac{1}{q_e} t$$

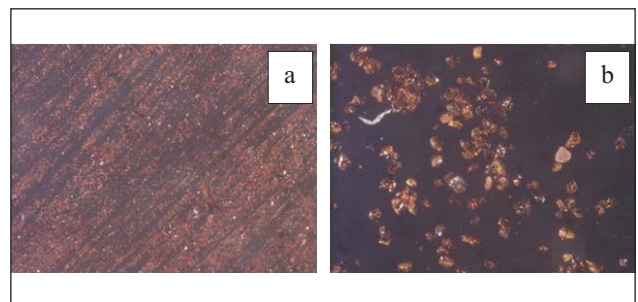
Kemudian dibuat grafik antara (t/q_t) vs t , maka diperoleh harga q_e (terhitung) dan h , dimana q_e merupakan jumlah adsorbat yang terserap pada kesetimbangan (mg/g), q_t merupakan jumlah adsorbat yang terserap pada waktu t (mg/g) dan h merupakan laju adsorpsi awal dimana $h = kq_e^2$, k merupakan konstanta laju adsorpsi (g.mg⁻¹.menit⁻¹).



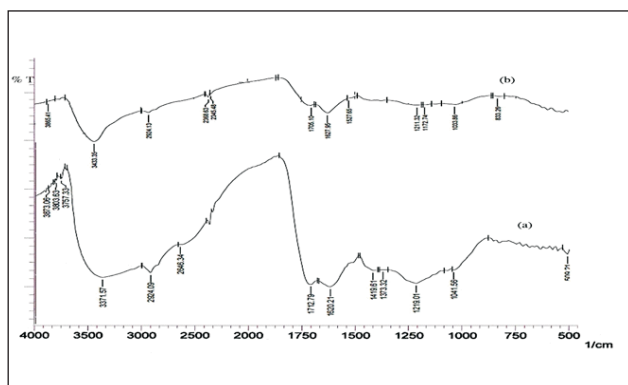
Gambar 5 Grafik kinetika Santosa asam humat

Dari ketiga model kinetika, model kinetika Santosa yang memberikan faktor korelasi (r) yang lebih baik dibanding model kinetika Ho dan Langmuir-Hinshelwood. Proses penghilangan Au(III) dari larutan mengikuti model kinetika Santosa, memiliki konstanta laju adsorpsi-reduksi (k) Au(III) 0,0065 menit⁻¹ dan konstanta kesetimbangan adsorpsi-reduksi (K) Au(III) 1537,4 L/mol. Adsorpsi Au(III) pada asam humat memiliki laju adsorpsi orde satu model kinetika Santosa.

Karakterisasi asam humat setelah proses adsorpsi-reduksi



Gambar 6. Hasil foto mikroskop asam humat (a) dan asam humat setelah proses adsorpsi-reduksi (b)



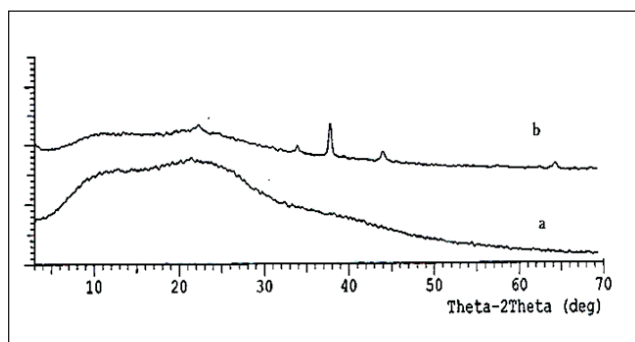
Gambar 7. Spektra IR asam humat: (a) sebelum berinteraksi dengan ion Au(III) (asam humat); (b) setelah berinteraksi dengan ion Au(III)

Asam humat setelah proses adsorpsi-reduksi dikarakterisasi dengan foto mikroskop, FTIR, dan XRD.

Hasil foto mikroskop perbesaran 112,5 kali terlihat logam Au(0) pada asam humat. Hal ini membuktikan terjadinya proses reduksi hampir di seluruh permukaan asam humat.

Spektra IR sebelum dan sesudah adsorpsi terlihat pada Gambar 7. Setelah proses adsorpsi, bilangan gelombang 3371 cm^{-1} bergeser ke bilangan gelombang 3433 cm^{-1} dan semakin berkurangnya intensitas pada puncak tersebut mengindikasikan bahwa gugus -OH yang semakin berkurang dikarenakan gugus -OH berinteraksi dengan Au(III) dan mereduksi Au(III) menjadi Au(0) atau logam Au. Turunnya serapan pada bilangan gelombang sekitar 1700 cm^{-1} menunjukkan berkurangnya serapan -C=O pada -COOH akibat berinteraksi dengan ion Au(III). Munculnya serapan pada bilangan gelombang 1033 cm^{-1} dan 833 cm^{-1} pada asam humat setelah proses adsorpsi, menunjukkan adanya logam yang terikat pada asam humat.

Hasil difraktogram sinar X yang terlihat pada Gambar 8 menunjukkan perbedaan yang sangat jelas antara asam humat sebelum dan sesudah proses



Gambar 8. Difraktogram asam humat: (a) sebelum berinteraksi dengan ion Au(III); (b) setelah berinteraksi dengan ion Au(III)

adsorpsi-reduksi. Asam humat berstruktur amorf, setelah proses adsorpsi ion Au(III) muncul puncak karakteristik dari logam emas di daerah 2θ 38, 44, dan 64 pada difraktogram sinar X menunjukkan adanya logam Au(0). Ketiga puncak karakteristik tersebut sama dengan pola puncak dari difraktogram emas yang dihasilkan oleh Nakajima dkk. (2003) dan Parajuli dkk. (2008). Ketiga puncak karakteristik tersebut menunjukkan bahwa refleksi bidang [111], [200], dan [220] yang merupakan struktur dari *face-centered cubic* dengan $a = 4,06\text{ \AA}$. Keberadaan Au(0) pada asam humat setelah adsorpsi menunjukkan bahwa ion Au(III) tidak hanya teradsorpsi, tetapi juga tereduksi menjadi logam Au(0).

KESIMPULAN

Asam humat dapat diisolasi dari tanah gambut Rawa Pening dengan melarutkan dalam basa dan mengendapkan dengan asam. Hasil perhitungan kinetika adsorpsi-reduksi ion Au(III) pada asam humat dengan model Santosa adalah $0,0065\text{ menit}^{-1}$. Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan terjadinya proses reduksi Au(III) menjadi logam Au(0) pada ketiga adsorben, yaitu pada $2\theta = 38, 44$, dan 64 yang merupakan karakteristik dari logam Au.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2008, *Yuk Menghitung Emas di Ponsel Bekas*, kompas.com., diakses tanggal 5 April 2011.
- Dewi, S.R., 2010, Aplikasi Humin dari Tanah Gambut untuk Adsorpsi Reduksi AuCl_4^- dalam Larutan, *Tesis*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Gamez, G., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Parsons, J., Dokken, K., dan Yacaman, M.J., 2003, Recovery of Gold(III) from Multi-elemental Solutions by Alfafa Biomass, *Adv. Environ. Res.*, 7, 563-571.
- Hamamoto, K., Kawakita, H., Ohto, K., dan Inoue, K., 2009, Polymerization of Phenol Derivatives by Reduction of Gold Ions to Gold Metal, *React. Funct. Polym.*, 69, 694-697.
- Hiskey, J.B., 1985., *Gold and Silver Extraction : the Application of Heap-Leaching Cyanidation.*, Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology Field Notes, 15 (4), 1-5.
- Laatikainen, M. dan Paatero, E., 2005., Gold Recovery from Chloride Solutions with XAD-7 : Competitive Adsorption of Fe (III) and Te (IV)., *Hydrometallurgy.*, 79., 154 – 171 .
- Lee J. D., *Concise Inorganic Chemistry 4th ed.*, Chapman & Hall., London.

- Nakajima A., Ohe K., Baba Y., dan Kijima T., 2003, Mechanism of Gold Adsorption by Persimmon Tannin Gel, *Anal. Sci.*, 19, 1075-1077.
- Nakbanponte, W., Thiravetyan, P., dan Kalambaheti, C., 2002., Comparison of Gold Adsorption by *Chlorella Vulgaris*, Rice Husk and Activated Carbon., *Minerals Engineering.*, 15., 549–552 .
- Ogata T., dan Nakano Y., 2005, Mechanism of Gold Recovery from Aqueous Solutions Using a Novel Tannin Gel Adsorbent Synthesized from Natural Condensed Tannin, *Water Res.*, 39, 4281-4286.
- Parajuli, D., Adhikari, C.R., Kawakita., H., Kajiyama K., Ohto, K., dan Inoue, K., 2008, Reduction and Accumulation of Au(III) by Grape Waste : A Kinetic Approach, *React. Funct. Polym.*, 68, 1194-1199.
- Parajuli D., Adhikari C.R., Kawakita H., Yamada, S., Ohto K., dan Inoue K., 2008, Chestnut Pellicle for The Recovery of Gold, *Bioresour. Technol.*, 100, 1000-1002 .
- Parajuli, D., Khunathai, K., Adhikari, C.R., Inoue, K., Ohto, K., Kawakita, H., Funaoka, M., dan Hirota, K., 2009, Total Recovery of Gold, Palladium, and Platinum Using Lignophenol Derivative, *Miner. Eng.*, 22, 1173-1178.
- Ramesh, A., Hasegawa, H., Sugimoto, W., Maki, T., dan Ueda, K., 2008, Adsorption of Gold(III), Platinum(IV) and Palladium(II) onto Glycine Modified Crosslinked Chitosan Resin, *Bioresour. Technol.*, 772, 347-355
- Rusdiarso, B., 2007., *Studi Ekstraksi Pelarut Emas (III) dalam Larutan Konsentrat Tembaga PT Freeport dengan 8-Metilxantin.*, Berkala MIPA UGM., 17 (2), 15–21.
- Stevenson, F.J., 1994, *Humic Chemistry : Genesis, Composition, Reactions*, John Willey & Sons. Inc, New York.
- Stum, W., dan Morgan, J. J., 1996, *Aquatic Chemistry : Chemical Equilibria in Natural Water.*, 3rd ed., John Willey and Sons., Inc., New York.
- Tasdelen, C., Aktas, S., Acma, E., dan Guvenilir, Y., 2008, Gold Recovery from Dilute Gold Solutions Using DEAE-cellulose, *Hydrometallurgy*, 96, 253-257.
- Thomas, W.J. dan Crittenden, B. D., 1998., *Adsorption technology and design.*, Butterworth – Hienemann., Oxford.
- Watling K. M., 2007., Spectroelectrochemical Studies of Surface Species in the Gold/Thiosulfate System., *Thesis.*, Griffith Science Environment Engineering and Technology., Griffith University, Australia
- Werbowski, M., 2006., Gold Fever in Patagonia., ([worldpress.org:Prague,CzechRepublic](http://worldpress.org/Prague,CzechRepublic))